

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Легирование алюминия и его сплавов редкими металлами обеспечивает создание сплавов (разработанные ВИАМ, ВИЛС) с существенно более высокими характеристиками удельной прочности, свариваемости, деформируемости, коррозионной стойкости. Коррозия в растворе поваренной соли сплавов марок Д-16 (система Al-Mg-Cu-Mn), 1975 (Al-Zn-Mg-Cu-Sc-Zr) и стали 08X18H10 (Fe-Cr-Ni), г/м²·ч: 0.3/0.008/0.1, соответственно. Нержавеющая сталь при плотности в три раза более высокой, чем алюминиевые сплавы уступает по прочности (предел текучести $\sigma_{0.2}=375$ МПа) маркам сплавов 1970, 1975, имеющим значения 490-510 МПа. Применение легированных РЗМ алюминиевых сплавов снижает массу конструкций, увеличивает дальность действия и мощность транспортных средств (вагонов, самолетов, ракет). Введение иттрий-кальций-алюминиевой лигатуры в проводниковые сплавы марок А5Е и А7Е повышает механические свойства проволоки на 30-35% и снижает электросопротивление. Испытание опытной партии труб из сплава 1570 (Al-Mg-Sc) на Оренбургском нефте-газовом месторождении показало их преимущества в коррозионной стойкости и в ценовом отношении по сравнению с импортными трубами из Японии (CC-90073). Сверхпластичная деформация (СПД), благодаря введенному скандию, характерна для алюминиевых сплавов, а для сплава марки 1421 (система Al-Mg-Li-Sc) позволяет снизить требуемые усилия деформации в 4-8 раз. Использование в самолётах, ракетах этого сплава даёт возможность снизить массу на 10-12%, а с учётом устранения болтов, заклёпок, герметиков и других соединений в планерах самолётов достигается снижение массы на 24%. Сплавы способны работать при температуре жидкого водорода. Сплавы системы Al-2Mg-0.2Sc-0.15Zr могут использоваться как перспективные материалы для реакторов деления, поскольку обладают быстрым спадом наведённой радиоактивности. Введение 0/3% скандия предотвращает распухание конструкционных материалов ядерных реакторов [1,2].

Легирование сплавов осуществляется введением в расплав лигатуры - «мастер-сплава». Значительное снижение исходных цен на лигатуру позволит резко увеличить использование этих сплавов в технике [2]. Удешевление стоимости «мастер-сплава» достигнуто существенным изменением в технологии получения. Синтез лигатуры проводится, как известно, методами высокотемпературных обменных реакций в расплаве фторидно-хлоридных солей щелочных или щёлочноземельных металлов, содержащих оксиды или фториды РЗМ с более электроотрицательными металлами: алюминием, магнием или кальцием. Использование оксида скандия в синтезе приводит к образованию с фторидами щелочных металлов соответствующих соединений – скандиевого криолита (M_3ScF_6) и оксифторскандиатов ($MScOF_2$). Растворимость оксида скандия намного ниже, чем фторида в тех же солевых системах и требует более высоких температур синтеза. Однако повышение температуры про-

цесса приводит не только к большим энергозатратам, но и к снижению прямого металлургического выхода РЗМ в сплав [3]. При загрузке оксида скандия в расплав фторидных солей, например криолита, максимальная растворимость при температуре 1050°C достигается при криолитовом соотношении (NaF/AlF_3) равном 3.0 и соответствует 8.5 мас.% оксида скандия, а для других КО растворимость при этой температуре снижается. Термодинамическими расчетами установлено, что при температуре 800-850°C во фторидно-хлоридном солевом расплаве извлечение скандия в сплав составляет 80-83%, а при снижении температуры прямой выход возрастает до 90-92%. Важной особенностью кинетики алюмотермического восстановления фторида или оксифторида скандия является существенное снижение выхода скандия в лигатуру от времени длительности операции. Причём при более высокой температуре извлечение скандия в сплав снижается более резко. В зависимости от условий синтеза извлечение из солевого расплава может изменяться от 92-95 до 65-70%. Однако при этом приходится учитывать требования заказчика. Присутствие щелочного металла в количестве $\text{п.}10^{-3}\%$ приводит к повышенному браку при прокатке фольги. Для снижения щелочного компонента приходится использовать более высокотемпературную солевую систему из фторидов и хлоридов кальция. В других процессах синтеза можно использовать солевую систему из фторидов лития-натрия-калия, имеющую температуру кристаллизации с оксидом скандия 450°C [4]. Существенным новшеством в технологии послужило внедрение совместно с ОАО «КУМЗ» инъекции порошков в жидкий алюминиевый сплав. Технологический порошок, содержащий нужный состав солей и оксид скандия, вводили путём вдувания струёй аргона с помощью установки УФР-20 (ОАО «КУМЗ»). После выдержки шлак удалялся, и отливку слитков проводили из газового миксера с фильтрацией сплава через стеклоткань [5]. Метод инъекции позволяет уменьшить стадийность приготовления многокомпонентных сплавов, получить лучшее распределение легирующих присадок и снизить содержание водорода, натрия и других примесей в сплаве.

При использовании печей большой ёмкостью (10 и более тонн) нагрев алюминиевого сплава проводят газовым пламенем. Однако, в настоящее время из-за дефицита скандия и других РЗМ получение лигатуры и модифицирование алюминиевых сплавов проводят в индукционных плавильных комплексах (например, УИП-100-2,4-0,06) мощностью 100 кВт, ёмкостью 60 кг. Использование более легкоплавкой солевой системы фторидов лития-натрия-калия позволяет снизить температуру процесса до $700\pm 20^\circ\text{C}$ и сократить время проведения процесса алюмотермии на 15-20%. Кроме того можно получать не стандартную - 2% по скандию лигатуру, а более богатую - 8-10%, что также в ряде плавов снижает энергопотребление. Ориентировочный расчет организации производства алюмо-10%скандиевой лигатуры в такой печи с выпуском 50 плавов в год и длительностью плавки 30 минут с учётом фильтрации расплава, сушки и переплава солей, вентиляции, освещения, подачи воды и других расходов потребует энергозатрат около 7000 кВт·ч/год. Будет получено 1500 кг обогащенной скандием (до 10%) лигатуры себестоимостью 20,5 тыс руб./кг. Основной вклад в цену сплава вносит стоимость фторида скандия, принятая в расчете 1000 \$/кг (или 60 тыс. руб. согласно курсу валют в декабре месяце 2015 г.). Загрузка участка получения лигатуры далеко не оптимальная и может быть значитель-

но увеличена при тех же расходах по фонду заработной платы. При масштабе производства оксида скандия на ОПУ завода ОАО «БАЗ-СУАЛ» 1500 кг, из оксида скандия можно будет производить в создаваемом инновационном центре «Богословский» 40000 кг 2% скандий-алюминиевой лигатуры, что позволит выплавлять более 2000 т качественных штампосварных конструкций. Для получения многокомпонентных лигатур, например Al-Mg-Sc-Zr-Hf, и достижения выхода из солевого расплава (Na,K,Al,RZM/F,Cl,O) в алюминиевый сплав не хуже 80%, температуру синтеза приходится поднимать до 850°C [6].

Заключение. Наиболее сильными модификаторами алюминиевых сплавов являются скандий, цирконий, иттрий. Добавление всего 0.1-0.2% скандия и циркония увеличивает прочность алюминия в 3 раза и эти добавки дают стабильность свойств при нагревании до 350°C. Введение их в сплавы на основе алюминия придают деформированным сплавам высокую прочность, свариваемость, виброустойчивость, коррозионную стойкость. Эти свойства резко расширяют области применения легких сплавов в технике. Широкое внедрение лигатур РЗМ ограничено их высокой стоимостью. В ИХТТ УрО РАН разработана технология извлечения скандия, циркония и иттрия из отхода глинозёмного производства, и ООО «ТЕХНОГОРИЯ» осуществляет внедрение на ОАО «БАЗ-СУАЛ». Выполненными в Институте исследованиями показана экономическая целесообразность извлечения из бокситового шлама РЗМ и получения на их основе алюминиевых лигатур и легких сплавов. Расчёты на различные масштабы производства модифицированных алюминиевых сплавов для инновационного центра «Богословский» СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ О ПРИБЫЛЬНОСТИ ЭТОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ВКЛЮЧАЯ ОКУПАЕМОСТЬ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ В ТЕЧЕНИЕ ОДНОГО ГОДА.

Список использованных источников

1. Яценко С.П., Пасечник Л.А., Скачков В.М. Скандий: получение и применение // Новости материаловедения. Наука и техника. 2015, № 3 (15), с. 32-37.
2. Яценко С.П. Редкие элементы в алюминиевых сплавах // Металлы Евразии. 2007, № 2, с. 66-67.
3. Напалков В.И., Махов С.В. Легирование и модифицирование алюминия и магния / М.: МИСИС, 2002, 376 с.
4. Яценко С.П., Скачков В.М., Яценко А.С. Получение лигатур на основе алюминия методом высокотемпературных обменных реакций в расплаве солей. V. Инжекция технологических порошков в жидкий алюминий // Расплавы. 2011, № 4, с. 41-46.
5. Яценко С.П., Овсянников Б.В., Варченя П.А., Пягай И.Н., Скачков В.М. Промышленная технология получения алюминий-скандиевой лигатуры инъекцией технологического порошка в жидкий алюминий // Химическая технология. 2011, № 6, с. 321-328.
6. Скачков В.М., Яценко С.П. Получение Sc-,Zr-,Hf-,Y-лигатур на основе алюминия методом высокотемпературных обменных реакций в расплавах солей // Цветные металлы. 2014, № 3, с. 26-30.